

# サクラの開花と積雪量の関連について

—福井県を対象として—

三浦 麻<sup>(\*1)</sup> 松川 育美<sup>(\*2)</sup>

(2012年10月1日 受付)

キーワード：サクラ・休眠打破・気温・積雪・開花日

## 1. 緒 言

春の訪れを感じるころ、全国的に社会的関心が高まるものの一つにその年のサクラの開花時期がある。開花前の気温は開花日を決定づけるには重要な要素であり、植物生理学上、気温は成長サイクルを変動させる主要な要因となる。近年の気温上昇の影響として、植物の開花や落葉などの時期が変化しているという報告 (Walther et al., 2002) があり、サクラの開花に及ぼす地球温暖化の影響の評価が行われている (丸岡・伊藤, 2009)。過去60年における国内4地点 (札幌, 仙台, 東京, 福岡) で観測されたサクラの開花日の経年変化をみると、開花日は変動しながらも徐々に早まっている傾向にある (Fig. 1 (a))。また、福井県においても、サクラの開花日の変動と気温との関連について、3月の平均気温とサクラの開花日との高い相関から、温暖化の影響により開花日が徐々に早くなりつつあると報告されている (福井県衛生環境研究センター, 2012)。その一方で、単年で見えていくと、暖候地では冬季が暖かいと休眠打破が遅れ、開花が遅くなることも報告されている。たとえば2007年は暖冬であり、全国の多くの地点で開花が早まったのだが、南九州や八丈島などでは極端に開花が遅くなる現象が見られた (丸岡・伊藤, 2009)。開花日に異変が生じただけでなく、満開の程度にも影響が及んだ。この年、八丈島では観測史上初めて満開には至らなかった。同年のその他の暖候地の観測データを見ると、開花日は平年値と比べ、名瀬で10日、南大東島では13日遅れており、石垣島では20日で著しく遅れた。また、最近13年間で見た場合では (Fig. 1 (b))、長期傾向とは逆に各地点では開花日は遅くなる傾向にある。このことは気候変化の影響が複雑に作用しているようにも考えられる。一般にサクラの開花日に対する影響について、春先の気温の高低によって判断することが多い。サクラの開花には春先の気温だけ

---

\*<sup>1</sup> 福井大学教育地域科学部地域政策講座

\*<sup>2</sup> 福井大学教育地域科学部地域科学課程

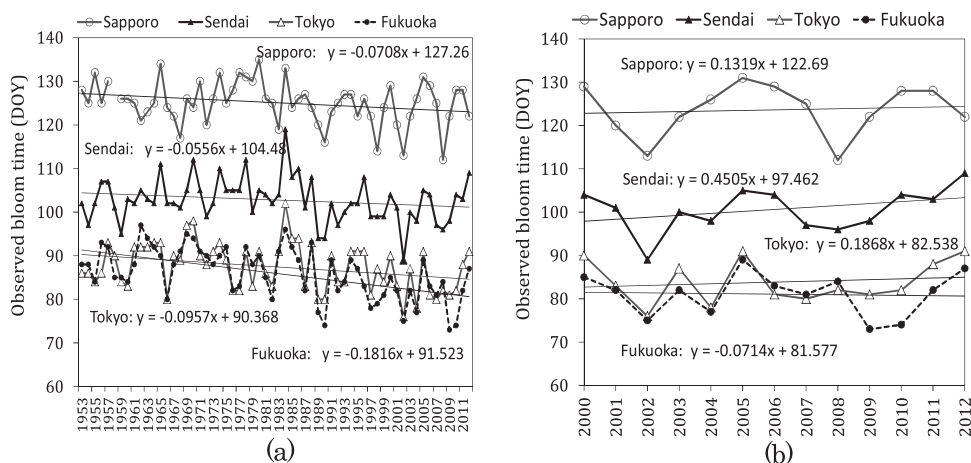


Fig.1 過去60年間(a)および最近13年間(b)のサクラの開花日の経年変化

でなく、暖冬等で成長サイクルを乱すような冬の気温も関連する。すなわち植物生理に影響を及ぼす気温については、開花直前に着目するだけでなく、花を落として次期に開花するまでの期間にも注目する必要がある。また、降雪地域では降雪状況と気温とが関連し、特に日本海側に位置する豪雪地帯の福井県では冬期の積雪量の影響が、少なからず花芽の形成から開花日までの成長過程に寄与していることが推測される。

本研究では福井地方気象台で観測される生物季節観測値および気象観測値に基づいて、サクラの成長サイクルにおける花芽の形成から開花に至るまでの過程に注目し、その期間に対する気温および積雪量との関連性を検討した。

## 2. サクラの開花予想プロセスの利用

サクラの成長過程には、花芽の形成、休眠、休眠打破、花芽の生長、開花の5つのステージがあり、各段階の時期は毎年の気候変化により変動する。各段階に対する気温や積雪量の影響を評価するためには、各段階の期間を算出する必要がある。本研究では、従来利用されているサクラの開花予想モデルのプロセスを活用し、各成長期間を算出することを試みた。

サクラの開花日予想を行うために、多くの研究者により予測モデルの開発が行われている。開花予測モデルには、サクラの植物生理に基づいた手法が取り入れられており、成長過程の各段階における気温の影響を考慮した温度変換日数法を用いることが我が国では一般的である（たとえば、小元・青野, 1989, 気象庁, 1996, 朝倉ら, 2010）。

温度変換日数は、生物活性に対する温度影響の指標として、ある温度である日数におかれた条件が標準温度に変換すると何日に相当するかを表したものであり（金野・杉原, 1986）、アレニウスの法則、つまり下記に示す(\*)式に従うという仮定の下で算出される。(\*)式中の植物の発

$$k = A \exp(-E_a/RT) \cdots \cdots (*)$$

ここで,  $k$  : 速度定数( $\text{day}^{-1}$ )

$A$  : 定数

$E_a$  : 見かけの活性化エネルギー( $\text{Jmol}^{-1}$ )

$R$  : 気体定数( $8.13 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ )

$T$  : 絶対温度(K)

育速度を表す速度定数  $k$  の対数と絶対温度の逆数との関係をアレニウスプロットとして作図して求めた温度特性値を温度変換日数法に適用する。ここで、温度特性値とは植物の生理状態を正確に表しているものであると考えられる(小野ら, 1988)。

サクラの成長過程のうち、休眠が解除された後に訪れる花芽の成長過程に対して温度変換日数法が適用される。休眠が解除された日(以下、休眠打破日とよぶ)を起算日と考え、その日から温度変換日数を積算する。開花予想の手順では、積算された温度変換日数がある積算値になった日を予想開花日とするが、休眠打破日を推定するモデル(Richardson et al., 1974)に用いられるチルユニット指標を導入することで予測誤差を小さくする。チルユニットとは休眠打破に向けた進行速度を気温に応じて指標化したものである。秋季から冬季にチルユニット値の積算値を算出することで休眠打破日を推定する。気温変動に伴って毎年の休眠打破の時期も変動しており、これは地域によっても異なる。

開花予想には、温度変換日数法だけで開花日を推定する方法(小元・青野, 1989, 青野・小元, 1990)や温度変換日数法とチルユニットを組み合わせて広域に適用できる予想法(青野・小元, 1990, 気象庁, 1996, 丸岡・伊藤, 2009, 朝倉ら, 2010)など多くの方法が試案されている。本研究では、福井地方気象台で観測されているサクラ(ソメイヨシノ)について、これらの予想法に取り入れられている温度変換法およびチルユニット指標を用いて、観測された開花日データから休眠開始日および休眠打破日を算出することで休眠期間と花芽の成長期間を求めた。休眠打破が生じた直後に花芽の成長期間に入ると仮定し、「休眠開始日－休眠打破日」および「休眠打破日(花芽の成長開始日)－開花日」のそれぞれの期間について、気温および積雪量を評価することで開花に対するそれらの影響を検討した。

### 3. 使用データおよび方法

#### 3. 1 使用データ

本研究に用いたデータは、気温、積雪、サクラの開花日であり、いずれも福井地方気象台において観測されたものである。まず、解析期間1954年から2012年まで(59年間)の開花日変動とともに11月から3月の平均気温および積算積雪量の経年変化の長期傾向をみた。次に、近年(2000

年から2012年）の13年間に着目し，その期間における開花日，平均気温および積算積雪量のそれぞれの関連性をサクラの成長段階ごとに検討した。なお，サクラの成長段階の各期間を算出するために1999年から2012年までの9月から3月までの毎時気温データを用いた。

### 3. 2 各成長過程期間の算出

サクラの成長段階の節目となる日，すなわち休眠開始日および休眠打破日（花芽の成長開始日）を以下の手順で求めた。

#### （1）温度変換日数積算値の算出

休眠打破日以降，開花日までに必要な温度変換日数を求める。（1）式を用いて，サクラの花芽の1日の生長を時間（日単位）に換算し，温度変換日数（*DTS*）を求めた。

$$DTS = \exp [E_a (T_f - T_s) / RT_f T_s] \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

ここで  $E_a$ ：温度特性値(79.8 kJmol<sup>-1</sup>，文献値)

$T_f$ ：日平均気温(K)

$T_s$ ：標準温度(288.2 K = 15℃，文献値)

$R$ ：気体定数(8.13 JK<sup>-1</sup>mol<sup>-1</sup>)

休眠打破が行われる日（温度変換日数の起算日）を決定するために，その候補として，各年の1月1日から実際の開花日（観測値）の15日前（文献値，例えば，青野ら，1990など）までのそれぞれの日を起算日と仮定する（起算日候補と呼ぶ）。次に，2000年から2012年の年毎に，1月1日から開花日の15日前までの日平均気温データを（1）式に代入して，温度変換日数を算出する。算出された温度変換日数を，各年の起算日候補となる日から開花日まで1日ずつずらしながら積算する。例えば，2000年は，開花日が4月8日であるので，15日前は3月24日となり，起算日の候補となる日は，1月1日から3月24日までであり，その日数を数えると84日である。つまり，1月1日から開花日までの日数，1月2日から開花日までの日数…といったように，温度変換日数を積算していくと，各起算日候補となる日から開花日までの積算値（温度変換日数積算値候補）が84個求まることになる。

#### （2）チルユニット積算値の算出

チルユニットは植物の種類によって異なった数値が用いられるが，ここではサクラと同族のモモについて提案されているチルユニット（Richardson et al., 1974）を使用する（Table 1）。Table 1に示すように，2.5～9.1℃の気温が休眠打破に向かうための気温条件に最も効果がある。その気温幅から外れるとその効果が減少するといえる。チルユニットの積算量は年ごとに異なっているため，チルユニットの積算開始日を決定するために，1999年から2011年までの各年における9

月から11月までに16℃以上の日最高気温が出現しなくなった日を抽出する。ここで16℃はチルユニットが負の値を示す閾値である（Table 1）。次に、抽出された日から、開花日の15日前までの日ごとにおいて、毎時気温データをチルユニット値に変換し、積算する。算出された積算値が最小となる日をチルユニット積算期間の開始日とする。福井地点では、解析期間の各年において16℃以上が出現しなくなった日は、概ね9月下旬から10月

Table 1 気温とチルユニットの関係

Temperature (°C)	Chill-unit contribution
≤1.4	0
1.5-2.4	0.5
2.5-9.1	1
9.2-12.4	0.5
12.5-15.9	0
16.0-18.0	-0.5
18.1≤	-1

上旬の間となり、チルユニット積算期間の開始日は10月下旬から11月上旬の間であった。また、チルユニット積算期間の終算日は、温度変換日数の起算日と同じ日である。（1）で算出した1月1日から開花日の15日前までを温度変換日数の起算日と仮定した場合と同様に、チルユニット積算の終算日と仮定される日（終算日候補）もまた、それと同じ数で存在する。例えば、2000年のチルユニット積算期間の終算日候補は84個である。

### （3）休眠打破日の決定

（1）および（2）で算出した、温度変換日数の積算値候補とチルユニット終算日候補との数十個分の相関をとり、一番高い相関がみられた日を休眠打破日に決定する。ここで、花芽が休眠段階から生長段階に移る時期には明確な区切りがあるわけではなく、休眠打破と花芽の生長が同時に進む期間がある。チルユニット積算の終算日から温度変換日数の起算日までの期間についても花芽は少しずつ生長していると考えられるが、休眠打破の進行に及ぼす気温の効果を数値化することは困難であることから考慮していない。

以上の手順によって算出された「チルユニット積算の起算日－温度変換日数の起算日」の期間を休眠期間、「温度変換日数の起算日－開花日（実測値）」を花芽の生長期間として、各年におけるそれぞれの節目となる日（休眠開始日および休眠打破日）ならびに期間日数を求めた。さらに、各年の各期間における気温の程度および積雪量とともに、その関連性を検討した。

## 4. 結果および考察

### 4. 1 経年変化の長期傾向

#### （1）開花日

1954年から2012年までの59年間において観測されたサクラの開花日の経年変化を Fig. 2 (a) に示す。福井県衛生環境研究センター（2012）が報告しているように、開花日は59年間を通して早まる傾向にあり、10年間で0.8日早まっている。開花の変動傾向は1988年を境として、開花日の早咲きの極値が1988年以前では、3月30日ごろ（通日90日）から、1989年以降では3月26日ごろ（通日86日）に早まった。また、遅咲きの極値は、1988年以前では、解析期間34年間で4月10日

（通日100日）以降に開花した記録は，12回出現しているが，1988年以降の解析期間24年間では，2012年の4月10日の1回のみであった。つまり，最近10年間では，遅くとも4月10日ごろまでに咲き始める傾向であるといえる。

## （2）平均気温および積雪量

11月～3月までの平均気温およびひと冬の積雪量の経年変化を Fig. 2 (b), (c) に示す。ただし，当該年の平均気温とは，当該年の前年の11月および12月と当該年の1月から3月までの5か月間の気温データを使用して算出した平均値である。たとえば，2000年の平均気温は1999年11月および12月，2000年1月から3月の通算5か月間の算術平均である。また同様に，ひと冬の積雪量は11月～3月までの積算積雪量である。

59年間の秋期から春期にかけての平均気温の全体的な傾向は上昇しており，上昇率は $1.7^{\circ}\text{C}/100$ 年である。局所的にみると，1984年～1987年を除き，この時期の前後で気温変化が異なる。つまり，平均気温の極小値の変動が顕著に表れており，1984年以前では $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ で出現しているが，1988年以降では $4.9^{\circ}\text{C}$ 以上で出現している（Fig. 2 (b)）。

積雪量の長期の変動傾向は，顕著なピークが3～5年ごとに出現しており，ピークに向けて年々増加し，ピーク出現の次の年には極端に減少するという傾向を繰り返している。また，変動パターンが変化する時期が開花日および平均気温のそれと類似しており，1988年を境にしてピーク時の積雪量が減少していることが認められる。1987年以前ではピーク値が $400\sim 600\text{cm}$ の間で推移しているのに対し，1988年以降では $200\sim 400\text{cm}$ の間で推移している。これは，地上付近で雪の状態が降ってくるときの地上気温は $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ が目安とされており，1988年以降に平均気温が上昇していることで，降雪が激減したものと考えられる。なお，雪を溶かして降雨とともに測定される降水量の経年変化（未掲載）では積雪量でみられるような長期変動はみられなかった。

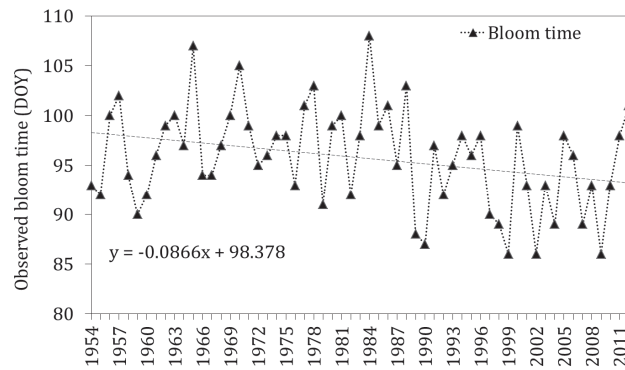
## （3）各要素の相関関係

開花日，平均気温，および積雪量の59年間の変動傾向をみると，パターンが変化する時期がほぼ一致していることがいえる。つまり，いずれも1988年～1989年で変動傾向が変化している。それぞれの要素の相関関係をみると，平均気温と積雪量，および開花日と平均気温との間にはそれぞれ負の相関（ $R_{\text{気温}-\text{積雪}}=-0.78$ ， $R_{\text{開花}-\text{気温}}=-0.72$ ）が得られた。しかし，開花日と積雪量との間では，低い正の相関（ $R_{\text{開花}-\text{積雪}}=0.56$ ）が認められた。この3つの要素は，いずれも相互に密接な関連性があると思われるが，開花日と積雪量との相関は相対的に低くなった。この理由として開花までのプロセスに積雪量が複雑な影響を及ぼしているためであると考えられる。そこで，2000年から2012年までの13年間のデータに基づき，サクラの花芽の生長の各段階に対する気温および積雪量との関連を次項で検討する。

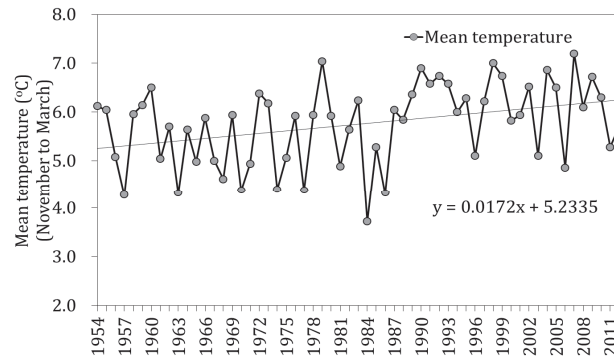
## 4. 2 サクラの生長プロセスと積雪について

ここでは，サクラの生長の各段階に対する積雪量の影響を主として検討する。温度変換日数積

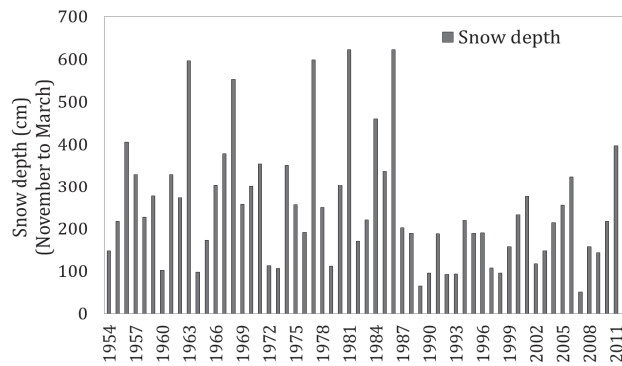




(a)



(b)



(c)

Fig.2 福井地点における各要素の59年間の経年変化  
(a)開花日 (b)平均気温 (c)積雪量

算値およびチルユニット値を用いて算出した、2000年から2012年までの各年におけるサクラの生長プロセスにおける休眠期間および花芽の生長期間を Fig. 3 に示す。休眠期間および花芽の生長期間は年ごとにばらつきがあるが、両期間の合計日数は解析期間を通して比較的ばらつきは小さい。13年間の平均値は152.3日（標準偏差8.43）である。このことから、休眠から開花するまでには140～160日程度が必要であるということがいえる。また、休眠期間が何らかの理由で短くなるときには、その期間を補うように花芽の生長日数が長くなり、逆に休眠期間が長い場合には花芽の生長日数が短くなる。

次に、休眠および花芽の生長のそれぞれの期間における積雪量と開花日との関連性を検討する。各年の休眠期間（休眠打破日以前）および花芽の生長期間（休眠打破日以降）における積算積雪

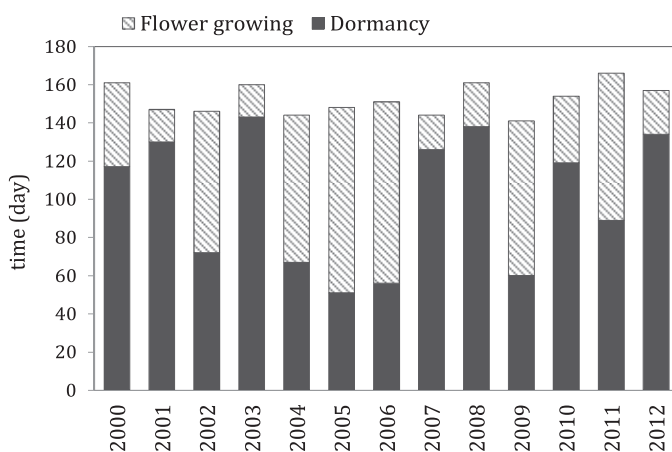


Fig.3 サクラの休眠および花芽の生長の各期間

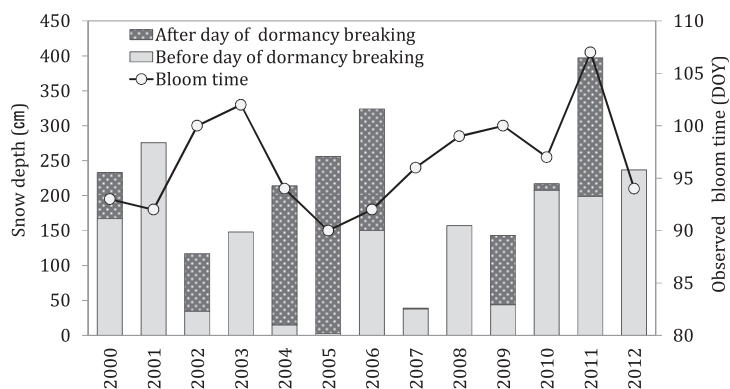


Fig.4 休眠および花芽の生長の各期間における積雪量と開花日の関係



量を算出し、開花日と併せて Fig. 4 に示す。これによると、開花日の変動は、休眠打破日前後の積雪量のみで決定されないことがわかる。その典型例として、2001年では休眠期間に積算積雪量が276cmであったが、花芽の生長期間には積雪はなかった。一方、2005年では休眠期間には積雪は3cmであり、花芽成長期間には250cmの積雪量となった。しかし、両者の開花日には大きな差がない。また、休眠期間の積算積雪量と休眠期間日数との相関 ( $R=0.62$ ) と比較して、花芽の生長期間の積算積雪量と花芽の生長期間日数にはより高い正の相関 ( $R=0.92$ ) があった。休眠打破後に積雪量が多いと直接的に花芽の生長促進に影響を及ぼし、開花までに時間が必要となることが考えられる。

さらに、開花日と積雪量との関連について事例解析を行う。Table 2-1 に算出された各年における休眠開始日、休眠打破日、開花日を示す。Table 2-2 には休眠期間における日数、積算積雪量、積算気温およびチルユニット積算値、花芽の生長期間における日数、積算積雪量および積算気温を示す。3つの要素の関連を(1)花芽の生長期間と積雪量、(2)休眠期間と積雪量、(3)休眠期間の積雪量と気温、の3つの観点から検討する。

#### (1) 花芽の生長期間と積雪量

2000年と2010年の休眠開始日は同日であり、休眠打破日はほぼ同時期である (Table 2-1)。一方、開花日は2010年の方が6日早い (Table 2-2)。これは、花芽の生長日数の違いが大きく影響していると考えられ、2000年では44日間、2010年では35日間と約10日間の差がある。その間の平均日積算気温を求めると5.7℃および6.9℃となり、積算積雪量は66cmおよび9cmと2000年の方が多量 (Table 2-2)。したがって、2000年の開花前の積雪が気温上昇を抑制し、花芽の生長を遅らせた結果、開花日が遅れたということが考えられる。

#### (2) 休眠期間と積雪量

2001年と2003年では、休眠期間日数が異なっているが、休眠打破日および開花日は同日であり、すなわち花芽の生長期間は同じである。このことは、休眠期間の積雪量と積算気温が影響していると考えられる。休眠期間において、2001年は276cmと積算積雪量が多く、休眠期間が130日である。一方、2003年は積算積雪量が148cmと相対的に少なく、休眠期間は143日と長くなった。また、2001年は積算気温およびチルユニット積算値がそれぞれ656.1℃、1713であり、2003年の729.4℃および2180と比べ、両者ともに小さい (Table 2-2)。これらのことから、2001年は積雪量が多く、休眠に好適な低温状態にさらされたため、休眠期間が短くなったことが考えられる。しかしながら、この事例のように積雪量が多ければ、順調に休眠打破に向かうための好適な低温状態であるというわけではない。

#### (3) 休眠期間の積雪量と気温

2004年と2011年の各データを比較すると花芽の生長期間は同じであり (Table 2-2)、事例(ii)の場合と同様である。しかし、2011年の開花日は2004年よりも1週間以上遅れた。休眠期間における2011年の積算積雪量は199cmで、2004年の同期間の積雪量15cmと比較して著しく多く

なった（Table 2-2）。各年の11月～3月の月平均気温および月積算積雪量を Fig. 5 (a), (b) に示す。両者に著しい差をもたらしているのは、1月の積雪量と平均気温である。積雪量は、2004年では88cm, 2011年は257cmであり、1月における月平均気温は3℃であるのに対して、2011年の1月における月平均気温は1℃である。ここで、休眠打破に向かう効果的な気温は、チルユニット指数によると2.5℃～9.1℃である（Table 1）。2004年の1月のチルユニットが1で最大値、2011年では0で最小値となり、2011年の休眠期間に効果的な気温条件になかったことが推測され

Table 2-1 サクラの生長プロセスに関する算出データ（1）

Year	Day of dormancy starting	Day of dormancy breaking	Bloom time
2000	11/1	2/25	4/8
2001	11/7	3/16	4/2
2002	11/2	1/12	3/26
2003	10/25	3/16	4/2
2004	11/8	1/13	3/29
2005	11/12	1/1	4/7
2006	11/7	1/1	4/5
2007	11/6	3/11	3/29
2008	10/31	3/16	4/2
2009	11/7	1/5	3/26
2010	11/1	2/27	4/2
2011	10/25	1/21	4/7
2012	11/7	3/19	4/10

Table 2-2 サクラの生長プロセスに関する算出データ（2）

Year	Time of dormancy				Time of flower growing		
	Days	Snow depth (cm)	Accumulated temprature(°C)	Accumulated chill-unit value	Days	Snow depth (cm)	Accumulated temprature(°C)
2000	117	167	706.1	1583.5	44	66	253.4
2001	130	276	656.1	1713	17	0	152.8
2002	72	35	506.3	1162.5	74	82	415.7
2003	143	148	729.4	2180	17	0	135.3
2004	67	15	523.6	940.5	77	199	353.3
2005	51	3	447.7	703	97	253	425.9
2006	56	150	314.7	745	95	174	374.1
2007	126	38	862.6	1973.5	18	1	116.4
2008	138	157	799.4	1822.5	23	0	157.4
2009	60	44	449.2	865	81	99	446.6
2010	119	208	720.2	1496	35	9	243.2
2011	89	199	625.8	981	77	198	312.9
2012	134	237	670.1	1723.5	23	0	162.4

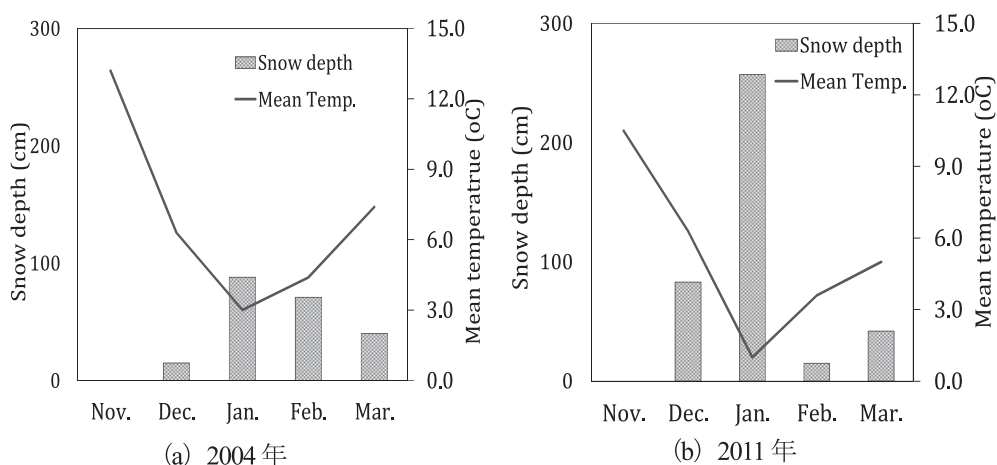


Fig.5 2004年および2011年の月平均気温と月積算積雪量

る。つまり、この事例では、2011年の1月の気温が開花日に影響を及ぼし、開花日が遅れたことを示唆する。

積雪は融解期において融けきらない限り、周囲の気温がいくら上昇しても0℃の状態を保つ(武田ら, 1992)。また、融解・蒸発に要する多量の潜熱を吸収し続け、さらにその溶け水が土壤に浸み込み、消雪後の地表面の熱収支にも土壤水分の蒸発の潜熱の効果を残す。つまり、積雪は大気に対して冷源として、重要な役割を持っているといえる。しかし、ここで示した事例は積算積雪量からみた考察であるため、さらにサクラの開花に及ぼす降雪現象の影響を明らかにするには、生長サイクルに対する降雪のタイミングや継続時間を含めた雪の降り方、残雪などを考慮することが必要である。

## 6. 結 言

本研究では、開花日の変動に影響する要素を明らかにするために、福井県におけるサクラの開花日、気温、積雪量のデータに基づいて、各要素の相互の関連性を検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 59年間で開花日は早まる傾向にある。開花変動のパターンは1988年を境として、それ以降に開花日の早咲きの極値が4日程早くなった。遅咲きの極値も早まっており、最近10年間で、遅くても4月10日ごろまでに咲き始める傾向にある。
- (2) 59年間の秋期から春期にかけての平均気温は上昇傾向にある (1.7℃/100年)。平均気温の極小値は1984年以前では3～4℃で出現しているが、1988年以降では4.9℃以上で出現している。
- (3) 積雪量の59年間の変動パターンは、開花日および平均気温のそれと類似した。1988年を境

にしてピーク時の積雪量が減少していることが認められる。

#### （４）サクラの生長プロセスにおける積雪と関連について

- ① 休眠期間および花芽の生長期間は年ごとにばらつきがあるが，両期間の合計日数は解析期間を通して比較的ばらつきは小さく，休眠から開花するまでには140～160日程度が必要である。
- ② 花芽の生長期間における積雪量が開花日までの気温上昇に影響を及ぼし，それによって開花日の変動する。
- ③ 休眠期間における積雪量がチルユニット値にかかる気温変化に影響を及ぼすことによって，花芽の休眠打破および花芽の生長へ影響があることが考えられる。

サクラの生長サイクルは，その地域のもつ気候特性を大きく受けていることが考えられ，福井県においては積雪現象に関連性があることが示唆された。本研究では，福井県におけるサクラの開花への影響を主として積雪量の視点から数事例を検討したが，さらに開花日の変動に対する影響要因を検討するには，より多くのデータに基づいて気温と積雪（降雪現象）の両視点から見ていく必要がある。今後は解析期間を拡大し，サクラの生長サイクルに対する気温と積雪の関連性を含めた気候変化の影響も検討したい。

#### 参考文献

- 青野靖久，小元敬男（1990），チルユニットを用いた温度変換日数によるソメイヨシノの開花日の推定，農業気象，45(4), 243-249.
- 朝倉利員，杉浦裕義，阪本大輔，杉浦俊彦，弦間洋（2010），サクラの満開日を広域で予測するモデル，農業気象，66(4), 269-277.
- 小野祐幸，金野隆光，奥野隆，浅野聖子（1988）日本ナシの催芽・開花まで日数への温度の影響，農業気象，44(3)，203-208.
- 小元敬男，青野康之（1989），速度論的手法によるソメイヨシノの開花日の推定，農業気象，45(1), 25-31.
- 金野隆光，杉原進（1986）土壌生物活性への温度影響の指標化と土壌有機物分解への応用，農業環境技術研究所報告，1，51-68.
- 気象庁（1996）新しいサクラの開花予想，解説資料第24号，1-4.
- 気象庁気象統計情報 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>.
- 気象庁生物季節観測情報 <http://www.data.jma.go.jp/sakura/data/index.html>.
- 丸岡知浩，伊藤久徳（2009），わが国のサクラ（ソメイヨシノ）の開花に対する地球温暖化の影響，農業気象，65(3)，283-297.
- 武田喬男，上田豊，安田延壽，藤吉康志，水の気象学，東京大学出版会，59-67.
- 福井県衛生環境研究センター（2012），「福井県から見る地球温暖化」調査研究報告書，p. 16.
- Richardson, E. A., Seeley, S. D. and Walker, D. R. (1974), A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees, Hortscien., 9 (4), 331-332.
- Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J. M., Hoegh-Guldberg, O., and Bairlein, F., (2002): Ecological responses to recent climate change. Nature, 416, 389-395.